

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:
Frank WEISS et al

Application No.: Not Yet Assigned

Group Art Unit: Not Yet Assigned

Filed: July 9, 2003

Examiner: Not Yet Assigned

For: METHOD FOR CONTROLLING THE VALVE
LIFT OF DISCRETELY ADJUSTABLE INLET
VALVES IN A MULTI-CYLINDER
INTERNAL COMBUSTION ENGINE

CLAIM FOR PRIORITY AND SUBMISSION OF DOCUMENTS

U.S. Patent and Trademark Office
2011 South Clark Place
Customer Window, Mail Stop Patent Application
Crystal Plaza Two, Lobby, Room 1B03
Arlington, VA 22202

Sir:

Applicant hereby claims priority under 35 U.S.C. 119 based on the following prior foreign application filed in the following foreign country on the date indicated:

<u>Country</u>	<u>Application No.</u>	<u>Date</u>
Germany	10231143.9	July 10, 2002

In support of this claim, a certified copy of the said original foreign application is filed herewith.

Dated: July 9, 2003

Respectfully submitted,


By Kevin R. Spivak

Registration No.: 43,148
MORRISON & FOERSTER LLP
1650 Tysons Blvd, Suite 300
McLean, Virginia 22102
(703) 760-7762
Attorneys for Applicant



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 31 143.9

Anmeldetag: 10. Juli 2002

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

Bezeichnung: Verfahren zum Steuern des Ventilhubes von diskret verstellbaren Einlassventilen einer Mehrzylinder-Brennkraftmaschine

IPC: F 02 D 13/02

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 4. April 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Se A'.



Beschreibung

Verfahren zum Steuern des Ventilhubes von diskret verstellbaren Einlassventilen einer Mehrzylinder-Brennkraftmaschine

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern des Ventilhubes von diskret verstellbaren Einlassventilen einer Mehrzylinderbrennkraftmaschine, deren Betrieb von einem elektrischen Betriebssteuergerät geregelt wird.

10

Brennkraftmaschinen mit Einlassventilen, deren Ventilhub durch einen Verstellmechanismus beispielsweise zwischen einem kleinen und großen Wert, also diskret verstellbar ist, werden in Kraftfahrzeugen immer häufiger eingesetzt, siehe z.B. DE 15 195 20 117 und MTZ Motortechnische Zeitschrift 61 (2000), 11, S. 730 - 743. Da sich bei einer Umschaltung des Ventilhubes die Luftmasse in den Zylindern wie auch die Menge des eingespritzten Kraftstoffes sprunghaft ändern, kommt es zu einer entsprechend sprunghaften Änderung des Drehmomentes, falls 20 dies nicht durch einen Regeleingriff verhindert wird. Eine Möglichkeit zum Verhindern eines derartigen Drehmomentensprungs besteht darin, die Zylinder unmittelbar nach einer Ventilhubumschaltung beispielsweise von einem kleineren auf einen größeren Wert mit einem verringerten Wirkungsgrad, etwa 25 durch eine Verstellung des Zündwinkels, zu betreiben, um auf diese Weise den bei der Ventilhubumschaltung entstehenden Drehmomentenüberschuss abzubauen. Eine derartige Umschaltstrategie müsste jedoch durch einen erhöhten Kraftstoffverbrauch erkauft werden.

30

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Steuern des Ventilhubes von diskret verstellbaren Einlassventilen einer Mehrzylinder-Brennkraftmaschine anzugeben, das eine möglichst verbrauchsgünstige Ventilhubumschaltung bei möglichst gleichbleibendem Drehmoment erlaubt. 35

Das Verfahren zur Lösung dieser Aufgabe ist im Patentanspruch 1 definiert.

5 Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird zunächst der Ventilhub für nur einen Teil der Zylinder verstellt, während der verbliebene Teil der Zylinder zeitlich verzögert hierzu verstellt wird.

10 Hierbei kann der Ventilhub für die Zylinder jeweils einzeln oder gruppenweise nacheinander verstellt werden. Vorzugsweise wird jedoch zunächst der Ventilhub für eine Hälfte der Zylinder und dann für die andere Hälfte der Zylinder verstellt. In jedem Fall sollte jedoch beachtet werden, dass die Verstellung des Ventilhubes für den ersten Teil der Zylinder so
15 durchgeführt wird, dass die Verbrennung in jedem Zylinder des ersten Teils der Zylinder jeweils abwechselnd zu der Verbrennung in einem Zylinder des zweiten Teils der Zylinder erfolgt.

20 Durch die erfindungsgemäß vorgeschlagene stufenweise Ventilhubumschaltung entsteht bei den Umschaltvorgängen jeweils nur eine kleinere Drehmomentänderung, die durch einen entsprechenden Regeleingriff einfacher und verbrauchsgünstiger kompensiert werden kann. Die jeweilige Drehmomentänderung, die
25 bei den Umschaltvorgängen ohne Regeleingriff entstehen würde, wird zweckmäßigerweise durch eine Änderung des Wirkungsgrades zumindest einiger der Zylinder kompensiert. Die Wirkungsgradänderung wird vorzugsweise durch eine Änderung des Zündwinkels für die betreffenden Zylinder erzielt. Eine andere Möglichkeit zum Kompensieren der Drehmomentänderung ist eine Änderung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses. Auch können beide
30 Möglichkeiten kombiniert werden.

Bei der Verstellung des Ventilhubes für den ersten Teil der
35 Zylinder wird zweckmäßigerweise das im Ansaugtrakt der Brennkraftmaschine angeordnete Drosselventil so verstellt, dass sich der Druck im Ansaugtrakt in Richtung eines Zielwertes

ändert, bei dem alle Zylinder nach erfolgter Ventilhubumschaltung wieder mit optimalem Wirkungsgrad arbeiten.

5 Nach der Verstellung des Ventilhubes für den ersten Teil der Zylinder sorgt die Regelung des elektronischen Betriebssteuergerätes dafür, dass die Zylinder wieder zu einer Betriebsweise mit optimalem Wirkungsgrad, z.B. mit dem Basiszündwinkel bzw. mit einem Luft/Kraftstoff-Verhältnis von Eins, zurückkehren. Spätestens zu diesem Zeitpunkt sollte der Ventilhub für den zweiten Teil der Zylinder verstellt werden.

10 Wird die Drehmomentänderung, die bei einer Ventilhubverstellung ohne zusätzlichen Regeleingriff auftreten würde, durch eine Verstellung des Zündwinkels kompensiert, so kann bei bestimmten Betriebsbedingungen der Fall eintreten, dass die zur Vermeidung eines Drehmomentensprungs erforderliche Verstellung des Zündwinkels so groß ist, dass der minimale Zündwinkel unterschritten werden müsste. Da die Regelung des Betriebssteuergerätes den Zündwinkel jedoch auf den minimalen Zündwinkel begrenzt, würde in diesem Fall dennoch ein Drehmomentensprung auftreten.

25 Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Kriterium für die Möglichkeit einer drehmomentenneutralen Ventilhubumschaltung angegeben. Wenn dieses Kriterium anzeigt, dass bei einer angeforderten Ventilhubumschaltung eine drehmomentneutrale Ventilhubumschaltung nicht möglich ist, so wird zu diesem Zeitpunkt entweder keine Ventilhubumschaltung oder eine Ventilhubverstellung für eine verringerte Anzahl von Zylindern vorgenommen.

Weitere Ausgestaltungen und Modifikationen des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

35 Weitere Einzelheiten der Erfindung werden in Verbindung mit der Zeichnung beschrieben, in der

Figur 1 eine Brennkraftmaschine in schematischer Weise zeigt und

Figur 2 ein Flussdiagramm für ein Beispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Steuern des Ventilhubes der Einlassventile ist.

Die Figur zeigt in schematischer Weise eine Brennkraftmaschine 1 vom Otto-Typ mit mehreren Zylindern 2 (von denen nur einer angedeutet ist), einem Ansaugtrakt 3, einem Abgastrakt 4, einem Einlassventil 5, einem (nicht dargestellten) Auslassventil, einem Aktuator mit einem Verstellmechanismus 6 zum diskreten Verstellen des Ventilhubes des Einlassventils 5, einem Einspritzventil 7 zum Einspritzen von Kraftstoff, einer Zündkerze 8 mit einem Zündwinkel-Verstellmechanismus 9 und einem im Ansaugtrakt 3 angeordneten Drosselventil 10 in Form einer Drosselklappe. Weitere für den Betrieb der Brennkraftmaschine 1 erforderliche, dem Fachmann bekannte Einrichtungen sind nicht dargestellt, da sie für ein Verständnis der vorliegenden Erfindung nicht benötigt werden.

Der Betrieb der Brennkraftmaschine 1 wird von einem elektronischen Betriebssteuergerät 11 geregelt. Wie durch gestrichelte Linien angedeutet, ist das Betriebssteuergerät 11 mit dem Einlassventil 5 bzw. dessen Verstellmechanismus 6, dem Einspritzventil 7, der Zündkerze 8, dem Zündwinkelverstellmechanismus 9 und dem Drosselventil 10 durch Steuerleitungen verbunden, um deren Betrieb in Abhängigkeit von Sensorsignalen zu regeln. Da derartige Regelverfahren dem Fachmann grundsätzlich bekannt sind, wird hierauf nur insoweit eingegangen, als es für ein Verständnis des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Steuern des Ventilhubes der Einlassventile erforderlich ist.

Der Ventilhub der Einlassventile 5 ist im Ausführungsbeispiel durch den Verstellmechanismus 6 zwischen einem kleinen und einem großen Ventilhub verstellbar, wobei der große Ventilhub

im Vergleich zum kleinen Ventilhub beispielsweise zu 50 % mehr Füllung in den betreffenden Zylindern führt.

Es sei nun angenommen, dass der Ventilhub der Einlassventile 5 vom kleinen Wert auf den großen Wert umgeschaltet werden soll. Zu diesem Zeitpunkt beträgt das von der Brennkraftmaschine 1 an ihre Kupplung (nicht gezeigt) abzugebende Soll-Drehmoment TQ_REQ_CLU beispielsweise 100 Nm. Ferner gilt für das aktuelle Kupplungsmoment bei kleinem Ventilhub $TQ_{kl} = 100$ Nm, während das aktuelle Kupplungsmoment bei großem Ventilhub $TQ_{gr} = 150$ Nm wäre.

Das Betriebssteuergerät 11 verstellt nun den Ventilhub der Einlassventile 5 für nur eine Hälfte der Zylinder, also im Fall einer Vierzylinder-Brennkraftmaschine nur für zwei Zylinder. Würde diese Ventilhubverstellung ohne weiteren Eingriff durchgeführt werden, so ergäbe sich ein Drehmoment von $(100 \text{ Nm} + 150 \text{ Nm}) / 2 = 125 \text{ Nm}$. Um diesen Drehmomentssprung zu vermeiden, um also das Drehmoment konstant zu halten, werden mindestens die Zylinder großen Ventilhubs und ggfs. auch die Zylinder kleinen Ventilhubs mit einem verringerten Wirkungsgrad betrieben. Dies wird durch eine Verstellung des Zündwinkels von einem Basiszündwinkel aus in Richtung auf einen späteren Zündzeitpunkt (also einen sogenannten Zündwinkelrückzug) erreicht. Stattdessen könnte, wie eingangs erwähnt, die Verringerung des Wirkungsgrads auch dadurch erreicht werden, dass die Zylinder mit einem magereren Luft/Kraftstoff-Verhältnis betrieben werden.

Gleichzeitig wird das Drosselventil 10 in Schließrichtung verstellt, um den Druck im Ansaugtrakt 3 hinter dem Drosselventil 10 zu verringern. Zweckmäßigerweise wird das Drosselventil 10 von dem Betriebssteuergerät 11 auf einen Öffnungsgrad eingestellt, bei dem ein Druck im Ansaugtrakt 3 erreicht wird, der zu einem Drehmoment von 100 Nm führt, wenn der Ventilhub für alle Zylinder auf den großen Wert verstellt worden ist.

Aufgrund der Verringerung des Drucks im Ansaugtrakt 3 sinkt auch das von den Zylindern mit kleinem Ventilhub abgegebene Drehmoment $T_{Q_{k1}}$. Die Differenz zwischen dem Soll-Drehmoment TQ_REQ_CLU und dem Drehmoment $T_{Q_{k1}}$ muss von den Zylindern mit großem Ventilhub übernommen werden. Jeder dieser Zylinder muss daher folgendes zusätzliche Drehmoment bereitstellen: $(TQ_REQ_CLU - T_{Q_{k1}})/\text{Zylinderzahl}$. Für jeden dieser Zylinder mit großem Ventilhub ergibt sich somit ein Drehmomentenbedarf von $(TQ_REQ_CLU + TQ_REQ_CLU - T_{Q_{k1}})/\text{Zylinderzahl}$.

Während sich die Zündwinkelverstellung auf die Verbrennung in den Zylindern nach der Ventilhubverstellung sofort auswirkt, macht sich die durch die Verstellung des Drosselventils 10 bewirkte Änderung des Drucks im Ansaugtrakt 3 erst verzögert in den Zylindern bemerkbar. Aufgrund der Regelung durch das Betriebssteuergerät 11 werden während dieser Zeit die Zündwinkel für die betreffenden Zylinder wieder in Richtung auf den Basiszündwinkel verstellt. Im vorliegenden Beispiel wird der Basiszündwinkel für die betreffenden Zylinder erreicht, wenn $T_{Q_{k1}} = 80\text{Nm}$ und $T_{Q_{gr}} = 120\text{ Nm}$.

Spätestens zu diesem Zeitpunkt wird der Ventilhub für die andere Hälfte der Zylinder auf den großen Wert verstellt. Nach dieser Umschaltung werden die Zylinder wieder durch eine Zündwinkelverstellung (bzw. eine Verstellung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses) mit verringertem Wirkungsgrad betrieben. Sobald der Druck im Ansaugtrakt 3 den Zielwert erreicht hat, hat sich aufgrund der Regelung durch das Betriebssteuergerät 11 wieder der Basiszündwinkel für die Zylinder eingestellt, so dass dann alle Zylinder wieder mit dem optimalen Wirkungsgrad laufen.

Soll der Ventilhub der Einlassventile 5 von dem großen Wert auf den kleinen Wert umgeschaltet werden, so werden sinngemäß die gleichen Maßnahmen, jedoch in umgekehrter Reihenfolge ergriffen. So wird zunächst, vor jeglicher Ventilhubverstel-

lung, das Drosselventil 10 in Öffnungsrichtung verstellt, und gleichzeitig wird der Zündwinkel für die Zylinder in Richtung eines späteren Zündzeitpunktes verstellt, um die Zylinder mit einem verringerten Wirkungsgrad zu betreiben. Wenn dann der Druck im Ansaugtrakt 3 einen ausreichenden Wert erreicht hat, wird der Ventilhub für die Hälfte der Zylinder auf den kleinen Wert verstellt. Der Wert des Drucks im Ansaugtrakt 3, bei dem die Ventilhubverstellung vorgenommen wird, wird hierbei so gewählt, dass die Wirkungsgrade aller Zylinder nach der Ventilhubverstellung der ersten Hälfte der Zylinder nahe bei Eins liegt. Anschließend verringern sich die Wirkungsgrade der Zylinder mit großem Ventilhub und ggfs. der Zylinder mit kleinem Ventilhub entsprechend dem steigenden Druck im Ansaugtrakt 3. Sobald dieser Druck ausreicht, um mit dem kleinen Ventilhub für alle Zylinder das angeforderte Drehmoment zur Verfügung stellen zu können, wird der Ventilhub für die zweite Hälfte der Zylinder auf den kleinen Wert umgeschaltet. Danach laufen wieder alle Zylinder mit einem Wirkungsgrad von Eins.

Wie bereits erwähnt, kann die Verringerung des Wirkungsgrades der Zylinder auch durch eine Abmagerung des Luft/Kraftstoff-Gemisches oder auch eine Kombination beider Methoden erreicht werden. Im übrigen sollte bei der Ventilhubumschaltung beachtet werden, dass verbrennungstechnisch aufeinanderfolgende Zylinder unterschiedliche Ventilhübe haben. D.h., die Verbrennung sollte immer abwechselnd in einem Zylinder mit kleinem Ventilhub und anschließend in einem Zylinder mit großem Ventilhub erfolgen. Dies bietet einen guten Umschaltkomfort bei relativ einfacher Berechnung der entsprechenden Betriebsparameter.

Das beschriebene Ventilhub-Umschaltverfahren ist auch bei Brennkraftmaschinen anwendbar, deren Einlassventile statt einer zweistufigen eine mehrstufige diskrete Verstellung des Ventilhubes ermöglichen. Auch ist das beschriebene Verfahren sinngemäß für eine zylinderindividuelle Umschaltung der Ein-

lassventile geeignet, bei der die Zylinder hinsichtlich ihres Ventilhubes z.B. einer nach dem anderen, paarweise nacheinander, usw. umgeschaltet werden.

- 5 Bei dem oben beschriebenen Verfahren zur Ventilhubumschaltung wurde stillschweigend davon ausgegangen, dass zur Verringerung des Wirkungsgrades der Zylinder eine Zündwinkelverstellung möglich ist, die ausreichend groß ist, um einen Drehmomentensprung bei der jeweiligen Ventilhubumschaltung zu vermeiden. Es sind jedoch auch Betriebszustände denkbar, bei denen für eine drehmomentenneutrale Ventilhubumschaltung eine so große Zündwinkelverstellung erforderlich wäre, dass der minimale Zündwinkel unterschritten werden müsste. In diesem Fall würde das Betriebssteuergerät 11 den Zündwinkel auf den minimalen Zündwinkel begrenzen, was dann einen Drehmomentensprung zur Folge hätte.

Es wäre daher wünschenswert, ein Kriterium dafür zu haben, ob bei einem bestimmten Betriebszustand eine drehmomentenneutrale Ventilhubumschaltung (d.h. eine Ventilhubumschaltung ohne Drehmomentensprung) überhaupt möglich ist.

Im folgenden wird ein derartiges Kriterium beschrieben, und zwar zunächst für den Fall, dass die Einlassventile von einem kleinen Ventilhub (Nockenhub) auf einen großen Ventilhub (Nockenhub) umgeschaltet werden.

Für die Grenze eines drehmomentenneutralen Ventilhubumschaltvorganges gilt folgende Gleichung:

30

$$\text{NR_ZYL} * \text{TQI}_{\text{k1_N}} * \text{EFF_IGA_BAS}_{\text{k1_N}} = \text{NR_ZYL}/2 * (\text{TQI}_{\text{k1_N}} * \text{EFF_IGA_MIN}_{\text{k1_N}} + \text{TQI}_{\text{gr_N}} * \text{EFF_IGA}_{\text{gr-N}}) \quad (1)$$

35 Hierin bedeuten:

NR_ZYL: Zahl der Zylinder

	TQI_{kl_N} :	indiziertes Drehmoment eines Zylinders bei kleinem Nockenhub
	TQI_{gr_N} :	indiziertes Drehmoment eines Zylinders bei großem Nockenhub
5	$EFF_IGA_{gr_N}$:	vom Zündwinkel abhängiger Wirkungsgrad eines Zylinders bei großem Nockenhub
	$EFF_IGA_BAS_{kl_N}$:	Wirkungsgrad eines Zylinders beim Basis- zündwinkel und bei kleinem Nockenhub
10	$EFF_IGA_MIN_{kl_N}$:	Wirkungsgrad eines Zylinders beim minima- len Zündwinkel und bei kleinem Nockenhub

Die linke Seite der Gleichung (1) stellt das Drehmoment sämtlicher Zylinder vor einem Ventilhubumschaltvorgang dar, bei dem die Zylinder mit dem Basiszündwinkel (also dem optimalen Zündwinkel) betrieben werden. Nach der Ventilhubverstellung der einen Hälfte der Zylinder soll das gleiche Drehmoment erzeugt werden, was durch die rechte Seite der Gleichung (1) wiedergegeben wird. Hierbei wurde als Grenzzustand angenommen, dass der Zündwinkel für die nicht umgeschalteten Zylinder mit kleinem Nockenhub auf den minimalen Zündwinkel ver-

15 stellt wurde. Der Term $TQI_{gr_N} * EFF_IGA_{gr_N}$ gibt hierbei das Drehmoment an, das nach der Ventilhubumschaltung von den Zylindern mit dem großen Nockenhub bereitgestellt werden muss, um die Gleichung (1) zu erfüllen, d.h. um einen drehmomenten-

20 neutralen Umschaltvorgang zu ermöglichen.

Aus der Gleichung (1) ergibt sich für den Wirkungsgrad $EFF_IGA_{gr_N}$:

$$30 \quad EFF_IGA_{gr_N} = \frac{(2 * TQI_{kl_N} * EFF_IGA_BAS_{kl_N} - TQI_{kl_N} * EFF_IGA_MIN_{kl_N})}{TQI_{gr_N}} \quad (2)$$

Hierbei handelt es sich um den vom Zündwinkel abhängigen Wirkungsgrad eines Zylinders mit großem Nockenhub, mit dem die Zylinder mit großem Nockenhub nach dem Umschaltvorgang be-

35 trieben werden müssten, um einen Drehmomentensprung zu vermeiden. Wenn dieser geforderte Wirkungsgrad $EFF_IGA_{gr_N}$ klei-

ner ist als der Wirkungsgrad $EFF_IGA_MIN_{gr_N}$ für den minimalen Zündwinkel bei großem Nockenhub, so würde der Zündwinkel auf den minimalen Zündwinkel begrenzt werden, was dann einen positiven Drehmomentensprung zur Folge hat.

5

Im Betrieb der Brennkraftmaschine mit kleinem Ventilhub werden daher laufend der Wirkungsgrad $EFF_IGA_{gr_N}$ und der Wirkungsgrad $EFF_IGA_MIN_{gr_N}$ laufend berechnet und miteinander verglichen. Wenn die Differenz zwischen $EFF_IGA_{gr_N}$ und $EFF_IGA_MIN_{gr_N}$ kleiner als ein Schwellenwert ist, zeigt dies an, dass eine Ventilhubumschaltung ohne Drehmomentensprung nicht möglich ist. Zweckmäßigerweise unterbleibt dann in diesem Zeitpunkt eine Ventilhubumschaltung. Eine andere Möglichkeit wäre, anstatt einer Hälfte der Zylinder eine kleinere Anzahl von Zylindern auf den größeren Ventilhub umzuschalten. Beispielsweise könnte bei einer Brennkraftmaschine mit sechs Zylindern statt drei Zylindern nur zwei Zylinder umgeschaltet werden, wodurch die erforderliche Zündwinkelverstellung entsprechend verringert würde.

20

Ein Kriterium für die Möglichkeit einer drehmomentenneutralen Ventilhubumschaltung von dem großen Nockenhub auf den kleinen Nockenhub kann wie folgt ermittelt werden. Für die Grenze eines drehmomentenneutralen Ventilhub-Umschaltvorganges gilt in diesem Fall die folgende Gleichung:

25

$$NR_ZYL * TQI_{gr_N} * EFF_IGA_MIN_{gr_N} = NR_ZYL / 2 * (TQI_{kl_N} * EFF_IGA_{kl_N} + TQI_{gr_N} * EFF_IGA_MIN_{gr_N}) \quad (3)$$

30

Hierbei stellt die linke Seite das Drehmoment sämtlicher Zylinder vor dem Umschaltvorgang dar, wobei angenommen wurde, dass der Zündwinkel auf den minimalen Zündwinkel zurückgefahren (und das Drosselventil 10 zur Erhöhung des Drucks im Ansaugtrakt in Öffnungsrichtung verstellt) wurde. Die rechte

35

Seite der Gleichung (3) stellt die Summe der Drehmomente dar, die von den Zylindern mit dem kleinen Nockenhub und den Zylindern mit dem großen Nockenhub nach dem Umschaltvorgang be-

reitgestellt werden muss, um einen Drehmomentensprung zu vermeiden.

Aus der Gleichung (3) ergibt sich für den Wirkungsgrad

5 EFF_IGA_{k1_N}:

EFF_IGA_{k1_N} =

$$(2 \cdot TQI_{gr_N} \cdot EFF_IGA_MIN_{gr_N} - TQI_{gr_N} \cdot EFF_IGA_MIN_{gr_N}) / TQI_{k1_N} \quad (4)$$

10 Der Wirkungsgrad EFF_IGA_{k1_N} ist der Wirkungsgrad, mit dem die Zylinder mit kleinen Nockenhub nach der Ventilhubumschaltung betrieben werden müssten, um das Drehmoment konstant zu halten.

15 Wenn der Wirkungsgrad EFF_IGA_{k1_N} größer als der Wirkungsgrad EFF_IGA_BAS_{k1_N} ist, so kommt es zu einem negativen Drehmomentensprung. Als Kriterium für die Möglichkeit einer drehmomentenneutralen Ventilhubumschaltung werden daher der Wirkungsgrad EFF_IGA_{k1_N} und der Wirkungsgrad EFF_IGA_BAS_{k1_N} laufend
20 berechnet und miteinander verglichen. Wenn die Differenz zwischen EFF_IGA_BAS_{k1_N} und EFF_IGA_{k1_N} kleiner als ein Schwellenwert ist, sollte zur Vermeidung eines Drehmomentensprungs entweder keine Ventilhubumschaltung eingeleitet werden oder eine Ventilhubverstellung für eine kleinere Anzahl von Zylindern vorgenommen werden.
25

Die oben geschilderte Methode liefert somit ein zuverlässiges Entscheidungskriterium für die Zulässigkeit einer Ventilhubumschaltung sowohl von einem kleinen auf einen großen Nockenhub wie auch von einem großen auf einen kleinen Nockenhub.
30

Anhand des Flussdiagramms der Figur 2 wird ein Beispiel für das erfindungsgemäße Verfahren zum Steuern des Ventilhubes von diskret verstellbaren Einlassventilen beschrieben. Es sei
35 angenommen, dass die Brennkraftmaschine mit dem kleinen Ventilhub der Einlassventile arbeitet. Es wird daher laufend ab-

gefragt, ob auf den großen Ventilhub umgeschaltet werden soll (Stufe 13).

Falls die Abfrage bejaht wird, wird geprüft, ob die erste
5 Hälfte der Zylinder umgeschaltet werden kann, ohne dass ein
Drehmomentensprung auftritt (Stufe 14). Genauer gesagt, wird
in der oben beschriebenen Weise geprüft, ob die Differenz
zwischen $EFF_IGA_{kl_N}$ und $EFF_IGA_MIN_{gr_N}$ kleiner als ein
Schwellenwert ist. Wenn dies der Fall ist, wird der Ventilhub
10 für die erste Hälfte der Zylinder 2 sowie das Drosselventil
10 in der oben beschriebenen Weise verstellt (Stufe 15).

Hierauf wird geprüft, ob die zweite Hälfte der Zylinder umge-
schaltet werden kann (Stufe 16). Hierzu wird beispielsweise,
15 wie oben beschrieben, geprüft, ob die Zündwinkel für die ers-
te Hälfte der Zylinder wieder den Basiszündwinkel erreicht
haben. Wenn dies der Fall ist, wird der Ventilhub für die
zweite Hälfte der Zylinder in der oben beschriebenen Weise
umgeschaltet (Stufe 17). Damit ist der Ventilhub für sämtli-
20 che Zylinder auf den großen Hub umgestellt.

Wenn die Abfrage der Stufe 14 ergibt, dass eine drehmomenten-
neutrale Umschaltung der ersten Hälfte der Zylinder nicht
möglich ist, so ist im allgemeinen eine drehmomentenneutrale
25 Umschaltung einer kleineren Anzahl von Zylindern auf den grö-
ßeren Ventilhub möglich. Bei dem Beispiel der Figur 2 wird in
diesem Fall zunächst nur ein Zylinder auf den großen Ventil-
hub umgeschaltet (Stufe 18). Hierauf wird anhand des oben ge-
nannten Kriteriums geprüft, ob der nächste Zylinder auf den
30 großen Ventilhub umgeschaltet werden kann (Stufe 19). Ist
dies der Fall, so wird der zweite Zylinder auf den großen
Ventilhub umgeschaltet (Stufe 20). Dieses Verfahren wird in
entsprechender Weise fortgeführt, bis der letzte Zylinder auf
den großen Ventilhub umgeschaltet wurde (Stufe 21).

35

Es versteht sich, dass je nach Anzahl der Zylinder der Brenn-
kraftmaschine auch eine paarweise bzw. gruppenweise Umschal-

tung der Zylinder in Frage kommt, wenn eine drehmomenten-
neutrale Umschaltung einer Hälfte der Zylinder nicht möglich
ist. Eine entsprechende Anpassung bzw. Änderung des Flussdi-
agrammes der Figur 2 ist für den Fachmann ohne weiteres er-
5 sichtlich.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern des Ventilhubes von diskret verstellbaren Einlassventilen einer Mehrzylinder-Brennkraftmaschine, deren Betrieb von einem elektronischen Betriebssteuergerät geregelt wird, bei welchem Verfahren für eine Ventilhubumschaltung sämtlicher Einlassventile zunächst der Ventilhub für nur einen ersten Teil der Zylinder und verzögert hierzu für einen zweiten Teil der Zylinder verstellt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Ventilhub für die Zylinder jeweils einzeln oder gruppenweise nacheinander verstellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass zunächst der Ventilhub für eine erste Hälfte der Zylinder und dann für die zweite Hälfte der Zylinder verstellt wird.
4. Verfahren einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Verstellung des Ventilhubes für den ersten Teil der Zylinder so durchgeführt wird, dass die Verbrennung in jedem Zylinder des ersten Teils der Zylinder jeweils abwechselnd zu der Verbrennung in einem Zylinder des zweiten Teils der Zylinder erfolgt.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Verstellung des Ventilhubes für den ersten Teil und für den zweiten Teil der Zylinder das Drehmoment der Brennkraftmaschine so geregelt wird, dass es auf einem dem angeforderten Drehmoment entsprechenden Wert bleibt.

6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine durch die Verstellung des Ventilhubes hervorgerufene Änderung des Drehmomentes durch eine Verringerung des Wirkungsgrades zumindest einiger der Zylinder kompensiert wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Änderung des Wirkungsgrades zumindest teilweise durch eine Änderung des Zündwinkels erzielt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Änderung des Wirkungsgrades zumindest teilweise durch eine Änderung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses erzielt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass bei der Ventilhubverstellung für den ersten Teil der Zylinder ein im Ansaugtrakt der Brennkraftmaschine angeordnetes Drosselventil so verstellt wird, dass sich der Druck im Ansaugtrakt in Richtung eines Zielwertes ändert, bei dem alle Zylinder nach der Ventilhubverstellung mit optimalem Wirkungsgrad arbeiten.

10. Verfahren nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Ventilhub für den zweiten Teil der Zylinder spätestens dann verstellt wird, wenn die Zylinder nach der ersten Ventilhubverstellung wieder mit ihrem optimalen Wirkungsgrad arbeiten.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 10, bei dem der Ventilhub der Einlassventile von einem kleinen Wert auf einen großen Wert umgeschaltet wird,
dadurch gekennzeichnet,

dass bei der Ventilhubverstellung für den ersten Teil der Zylinder ein im Ansaugtrakt der Brennkraftmaschine angeordnetes Drosselventil in Schließrichtung verstellt und gleichzeitig zumindest der erste Teil der Zylinder mit verringertem Wirkungsgrad betrieben wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 10, bei dem der Ventilhub der Einlassventile von einem großen Wert auf einen kleinen Wert umgeschaltet wird,
dadurch gekennzeichnet,
dass vor der Ventilhubverstellung für den ersten Teil der Zylinder ein im Ansaugtrakt angeordnetes Drosselventil in Öffnungsrichtung verstellt wird und alle Zylinder mit verringertem Wirkungsgrad betrieben werden, und dass die Ventilhubverstellung für den ersten Teil der Zylinder durchgeführt wird, wenn der Druck im Ansaugtrakt einen Wert erreicht hat, bei dem sich durch diese Ventilhubverstellung für alle Zylinder ein Wirkungsgrad in der Nähe des optimalen Wirkungsgrades ergibt.

13. Verfahren nach den Patentansprüchen 7 und 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass der vom Zündwinkel abhängige Wirkungsgrad $EFF_IGA_{gr_N}$ der Zylinder bei großem Ventilhub, der für eine drehmomentenneutrale Ventilhubverstellung des ersten Teils der Zylinder erforderlich wäre, laufend berechnet und mit dem Wirkungsgrad $EFF_IGA_MIN_{gr_N}$ bei minimalem Zündwinkel verglichen wird und aus dem Vergleich ein Kriterium für die Möglichkeit einer drehmomentenneutralen Ventilhubverstellung gewonnen wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass, wenn bei einer angeforderten Ventilhubumschaltung die Differenz zwischen dem Wirkungsgrad $EFF_IGA_{gr_N}$ und dem Wirkungsgrad $EFF_IGA_MIN_{gr_N}$ kleiner als ein Schwellenwert ist, zu diesem Zeitpunkt entweder keine Ventilhubverstellung oder

eine Ventilhubverstellung für eine verringerte Anzahl von Zylindern vorgenommen wird.

15. Verfahren nach den Ansprüchen 7 und 12,

- 5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der vom Zündwinkel abhängige Wirkungsgrad $EFF_IGA_{kl_N}$ der Zylinder bei kleinem Ventilhub, der für eine drehmomenten-neutrale Ventilhubverstellung des ersten Teils der Zylinder erforderlich wäre, laufend berechnet und mit dem Wirkungsgrad
10 $EFF_IGA_BAS_{kl_N}$ bei einem Basiszündwinkel verglichen wird und aus diesem Vergleich ein Kriterium für die Möglichkeit einer drehmomentenneutralen Ventilhubumschaltung gewonnen wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15,

- 15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass, wenn bei einer angeforderten Ventilhubumschaltung die Differenz zwischen dem Wirkungsgrad $EFF_IGA_BAS_{kl_N}$ und dem Wirkungsgrad $EFF_IGA_{kl_N}$ kleiner als ein Schwellenwert ist, zu diesem Zeitpunkt entweder keine Ventilhubumschaltung oder ei-
20 ne Ventilhubverstellung für eine verringerte Anzahl von Zylindern durchgeführt wird.

Zusammenfassung

Verfahren zum Steuern des Ventilhubes von diskret verstellbaren Einlassventilen einer Mehrzylinder-Brennkraftmaschine

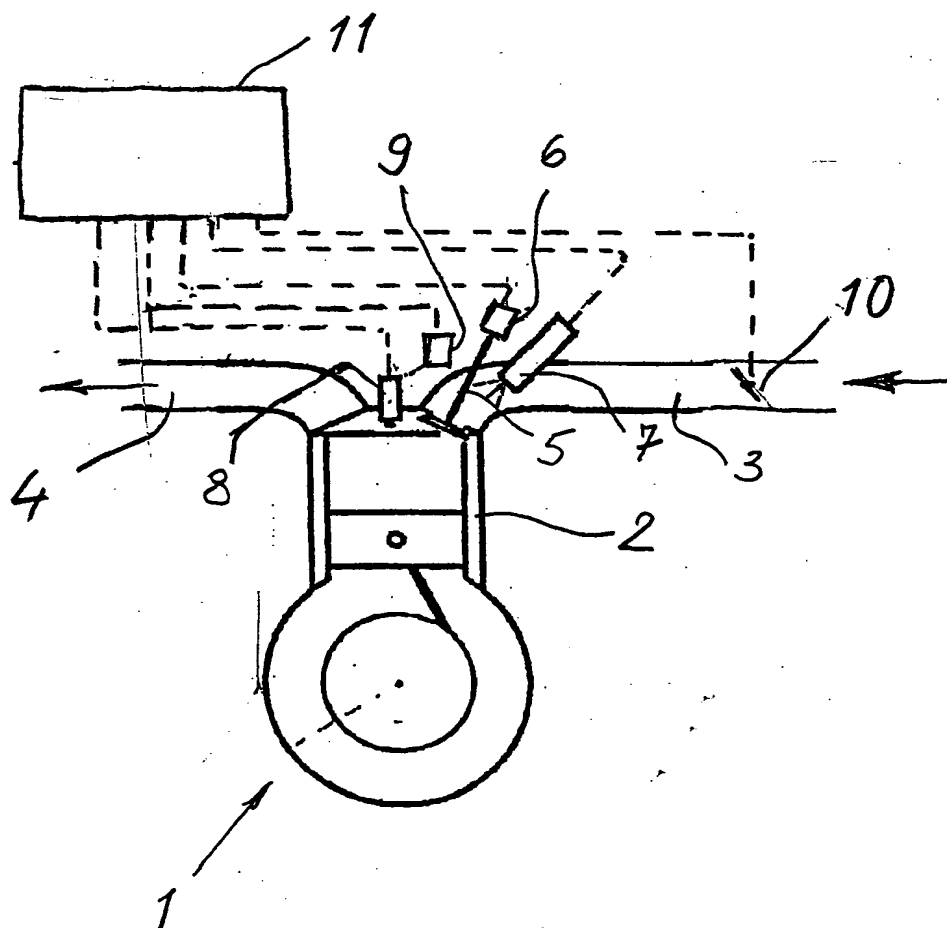
5

Um einen Drehmomentensprung bei einer Ventilhubumschaltung von diskret verstellbaren Einlassventilen zu vermeiden, wird zunächst eine Ventilhubverstellung nur für einen Teil der Zylinder und verzögert hierzu der Ventilhub für den restlichen Teil der Zylinder umgeschaltet. Bei jeder Ventilhubverstellung muss daher nur eine kleinere Drehmomentänderung mittels einer entsprechenden Änderung des Wirkungsgrades der Zylinder kompensiert werden.

15 Figur 2

$$1/2$$

Fig. 1



2/2

Fig. 2

